宇宙航空の最新情報マガジン

JAXA's

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
機関誌
［ジャクサス］

No.072
April 2018

イプシロンロケット 次のステージへ

宇宙航空の最新情報マガジン

CONTENTS

[ジャクサス] 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構機関誌 No.072 April 2018

Cover Photo:2018年1月18日内之浦宇宙空間観測所からイプシロンロケット3号機が打ち上げられました。イプシロンロケットは、脈々と受け継がれ進歩してきた日本の固体ロケット技術の集大成と言えます。今後も日本の基幹ロケットとして、運用性と衛星搭載環境を向上させ世界のトップレベルを目指します。

3 第2回国際宇宙探査フォーラム(ISEF2)の成果
月や火星への道が見えてきた
藤崎 一郎 前駐米特命全権大使 文部科学省宇宙開発利用部会 国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会 主査
向井 千秋 JAXA 技術参与　東京理科大学 特任副学長 文部科学省宇宙開発利用部会 国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会 委員
野口 聡一 有人宇宙技術部門 宇宙飛行士・運用管制ユニット 宇宙飛行士

6 SS-520 5号機による超小型衛星打ち上げ
小さなロケットで得た大きな成果
中須賀 真一 東京大学 航空宇宙工学専攻 教授
稲谷 芳文 宇宙科学研究所 宇宙飛翔工学研究系 特任教授
羽生 宏人 宇宙科学研究所 宇宙飛翔工学研究系 准教授

8 日欧共同開発の地球観測衛星EarthCARE
雲とエアロゾルの精密観測で温暖化予測の精度を高める
第一宇宙技術部門 EarthCARE/CPRプロジェクトチーム
富田 英一 プロジェクトマネージャ
岡田 和之 主任研究開発員

10 [センターグラビア]
「はやぶさ2」相模原に!

12 **最初の夢が叶うとき**
小惑星探査機「はやぶさ2」いよいよリュウグウ到着へ
吉川 真 宇宙科学研究所 宇宙機応用工学研究系 准教授 はやぶさ2ミッションマネージャ

13 ミッション前半の活動をプレイバック!
金井宣茂宇宙飛行士のISS滞在報告

14 実際の飛行データから航空機を評価
飛行特性の解析を究めたい
成岡 優 航空技術部門 飛行技術研究ユニット ジェットFTBセクション 研究開発員

16 [宇宙を職場にする]
南極での経験と実績を生かして、
有人月面基地建設に向けた取組がスタート
“ミサワホーム×JAXA”
作尾 徹也 ミサワホーム株式会社 取締役 常務執行役員
秋元 茂 ミサワホーム株式会社 技術部 耐久技術課長 兼 かぐやPJリーダー

18 [研究開発の現場から]
「つばめ」(SLATS)搭載[原子状酸素モニタシステム]Atomic oxygen MOnitor
原子状酸素の材料への影響を探れ
木本 雄吾 研究開発部門 第一研究ユニット 研究領域主幹
後藤 亜希 研究開発部門 第一研究ユニット 研究開発員

20 [JAXAトピックス]
1. 星出彰彦宇宙飛行士、3回目のISS滞在で初めて船長に就任!
2. イプシロンロケット3号機による高性能小型レーダ衛星(ASNARO-2)打ち上げ成功
3. 「あなたが着たい宇宙服のデザイン画コンテスト」表彰式を開催

JAXA’s発行責任者の庄司義和です。

去る3月3日、東京都内で「第2回国際宇宙探査フォーラム(ISEF2)」が開催され、人類の活動領域を「地球低軌道の国際宇宙ステーション」から、「月へ」、「火星へ」、「さらにその先へ」拡大するという目標が、40以上の国の代表により確認されました。私たちは今、時代の大きな変曲点に立ち会っているんだと実感し、身震いする思いです。

平成30年度最初の号の巻頭特集は「宇宙探査」にしました。具体的な探査計画はこれから国際場裡で議論され、順次形成されていくことでしょう。JAXAの挑戦はこれからも続きます。

発行責任者
JAXA
(国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構)
広報部長　庄司 義和

JAXA's 編集委員会
委員長　庄司 義和
委員　青山 剛史
寺門 和夫
山根 一眞
山村 一誠
アドバイザー　的川 泰宣

編集制作
株式会社ビー・シー・シー
2018年4月1日発行

特別鼎談

第2回 国際宇宙探査フォーラム(ISEF2)の成果

月や火星への道が見えてきた

向井 千秋（むかい ちあき）
JAXA 技術参与
東京理科大学 特任副学長
文部科学省宇宙開発利用部会
国際宇宙ステーション・
国際宇宙探査小委員会 委員

藤崎 一郎（ふじさき いちろう）
前駐米特命全権大使
文部科学省宇宙開発利用部会
国際宇宙ステーション・
国際宇宙探査小委員会 主査

野口 聡一（のぐち そういち）
有人宇宙技術部門
宇宙飛行士・運用管制ユニット
宇宙飛行士

2018年3月3日、東京において第2回国際宇宙探査フォーラム(ISEF2)が開催され、国際宇宙ステーション(ISS)計画以来の大規模な国際宇宙探査計画について、幅広い議論がなされました。国際宇宙探査の意義、価値、期待される成果、JAXAの果たすべき役割などを、文部科学省宇宙開発利用部会国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会の主査である藤崎一郎前駐米大使、第1期のJAXA宇宙飛行士である向井千秋宇宙飛行士、3回目のISS長期滞在が決定した野口聡一宇宙飛行士が語り合いました。

進行・文:寺門 和夫(科学ジャーナリスト)

月近傍の宇宙ステーション、月、そして火星へ

── 藤崎大使の小委員会では昨年、「国際宇宙探査の在り方　～新たな国際協調体制に向けて～」をまとめられました。ISEF2にいたるまでに、小委員会ではどのような議論をされましたか。

藤崎　ISEF2が日本で開催されるのを念頭に置いて、私どもの小委員会では早い時期から、これからの宇宙探査を日本がどう進めるべきかを議論してきました。2017年の9月以降、トランプ政権が宇宙飛行士を月に送る方針を打ち出し、月近傍の宇宙ステーションから月面、そして火星へという道筋がはっきりしてきました。そのような中で、これまでの議論も昨年12月に、宇宙基本計画の第27項目の「国際有人宇宙探査」という形で反映されました。こうした流れの中でISEF2が行われたわけです。

── 今回のISEFでは本会合の前にサイドイベントも行われましたね。

藤崎　最近はアメリカでもヨーロッパでも日本でも、産業界と協力していくという動きが活発になっています。それが産業界向けのI-ISEFにつながりました。私たちはまた、次世代を育てることが大事で、若い人にどう参加してもらうかが今回の大きなポイントであると考えていました。それが若い人向けのY-ISEFや高校生向けのS-ISEFになったわけです。さらに私たちは、せっかく日本で開催するのであるから、日本ならではの成果を残したいということも議論しました。それが開発の大きな規範を規定する今回採択された「国際宇宙探査に関する原則」でISEFの場で各国からの提案で東京原則と呼ばれることとなったのです。

── 東京原則では平和目的と人類への利益のために宇宙探査を行うことや、国際的な協力などがうたわれました。

藤崎　東京原則の他に「共同声明」と「国際宇宙探査フォーラム運営規約」も出され、ISEF2全体として、今後の国際宇宙探査についての考え方が浮かび上がってきました。日本のリーダーシップでそれがまとめられたことは、今回の大きな成果だったと思います。各国も強い印象をもったのではないかと思います。

いつも先頭集団に　いることが大事

── この成果を踏まえ、日本の宇宙探査は今後どのように進んでいくべきでしょうか。

藤崎　金井宇宙飛行士が現在滞在している国際宇宙ステーション（ISS）の高度は400kmです。東京から京都くらいの距離です。月までの距離はその約1000倍、火星はそのまた1000倍以上のずっと遠い所にあります。マラソンにたとえれば、今われわれはまだ国立競技場から出ていない所にいることになります。長いマラソンで大事なことは、先頭集団にいることです。後ろから追いつくことはとても難しい。今、世界の宇宙開発の先頭集団にいるのはISS計画の参加国です。日本もこの計画に参加してその集団の中にいますが、今度も先頭集団に入っていかなくてはなりません。

──ISEF2の成果を踏まえ、次のステップへということになりますね。

藤崎　今回の会議で、ISSの次は月の近傍の宇宙ステーションを作り、それから月、さらに火星に行くという道筋が見えてきて、それを国際協力でやっていくこともコンセンサスが得られました。新しく宇宙に参入してきた国や産業界とどう協力しながらやっていくか。この問題を日本として考えていく時期に来ているのではないかと思います。

── 向井さんはこれからの日本の有人宇宙探査をどう考えますか。

向井　私は第1期の宇宙飛行士としてISS計画の前から仕事していましたが、やはりISS計画に日本が参加したことが非常に大きな意味を持っていたと思います。それまでの私たちは、アメリカのスペースシャトルのバックシートに乗せてもらうことしかできませんでした。ところがISS計画によって日本の有人宇宙技術は進展し、今では宇宙先進国になっているのです。今後も先頭集団に入っていないと、後で大変なことになるというのは本当にそのとおりだと思います。

藤崎　その時に考えておかなくてはいけないポイントが三つあります。一つ目は、宇宙探査というものは否応なく進んでいくということです。今から400年以上前には大航海時代がありました。未知の空間があれば、人類はそこに出ていって、どう利用するかを考えるのです。二つ目は、宇宙探査はものすごく大きなプロジェクトなので、一国ではできない。国際協力でやる必要があるということです。三つ目はさっきお話ししたように、やはり先頭集団にいないといけない。日本は今、好位置にいますが、ここから遅れないようにしなければいけないことを、国民も政治家も産業界もみんな理解しなければいけません。そのために私どもの小委員会でも、できるだけのことをしていきたいと思っています。

日本が優位性をもつ　有人宇宙技術

── これからも先頭集団にいるためには、日本が優位性を発揮できる技術を持つことが必要ですね。

野口　日本の有人宇宙技術は国際的な評価が高いですね。完成度の高い「きぼう」日本実験棟のモジュール、そこで行われている実験の成果、ISSに補給物資を運ぶ「こうのとり」など、いくつも例をあげることができます。JAXAの持っている深宇宙補給技術や重力天体への着陸や探査技術、有人宇宙滞在技術などは、月近傍の宇宙ステーションや月面を目指す時に重要になってくると思います。

── 向井さん、月近傍あるいは月面まで行くとなると、JAXAの宇宙医学はどんな形で生かされていくでしょうか。

向井　ISS以遠で一番問題となるのは宇宙放射線です。宇宙放射線の計測はJAXAが得意とする技術です。これからは放射線の長期的なモニタリングを行い、生体への影響を調べ、それを防護するための方法や素材の開発が必要です。

── もう一つは宇宙での衣食住技術ですね。

向井　ISSは地球からの補給物資に依存していますが、月近傍や月面に行くのであれば、地球に依存しないシステムを作っていかなければいけません。ですから、今後の有人宇宙探査を考えた時には、滞在技術がものすごく大事になります。この滞在技術は、高い技術力を持つ日本の産業界が宇宙に参入できる分野だと思います。

野口　今の向井さんのお話をうかがいながら思ったのですが、今回、Y-ISEFの優勝チームは宇宙空間を長く旅するには食糧を自分たちで作る必要があるだろうと考え、菌類を使ってたんぱく質を作るテーマを選んだのです。閣僚達のいるISEFの場で発表してくれたのはフィリピンの女子学生だったのですが、有人宇宙活動をしていない国の若い人がしっかりしたビジョンを持って国際会議にやって来て、多国籍の混成チームをうまくまとめてプレゼンする時代がやって来たのは、とても印象的でした。

藤崎　私もY-ISEFのチームが各国混成になっており、いろいろな人が参加していることに感心しました。私たちの小委員会でも、将来のための若い人のネットワークの場にしたいと言ってきたのですが、Y-ISEFは本当にそうなりました。

向井　衣食住の技術は地球上での貧困や食糧難の問題とも関連してきます。国連が推奨しているSDGs（持続可能な開発目標）に宇宙が貢献できる道が広がるという意味でも、滞在技術の研究と社会実装はとても大事だと思います。

ISSを将来の宇宙探査の　ためにも利用する

──野口さんは宇宙飛行士としてISEF2の成果をどう受け止めていますか。

野口　ISSでしっかりとした成果を出しつつも、月近傍、月面、さらに火星へという方向性が明確になり、私たち宇宙飛行士の具体的な目標になったのが非常に大きいと思います。後になってISEF2を振り返ると、この会議は宇宙飛行士が本格的に月近傍や月面探査を意識した転換点だったと記憶されるのではないでしょうか。

向井　ISSをさらに遠いところへ行くための研究開発の場所と考えて、いろいろな人が使ってくれれば、ISSの利用価値も高まると思います。

── 藤崎大使はISSの利用についてどんなふうにお考えになっていますか。

藤崎　ISSの利用は日本だけで決める話ではないですけれども、ISSの先を見ながらISSをどう利用していくかを考える。そしてISSから月近傍や月面へとだんだん軸足を動かしていくというのは必然であろうと、私も思います。さっき申しましたように、月近傍においても先頭集団でやっていくという観点でISSの利用も考えなければいけないと思います。

──I-ISEFで活発な議論が行われた宇宙探査への民間の参加に関しては、どのように考えておくべきでしょうか。

藤崎　アメリカでは特に、地球低軌道の活動を民間に任せようという動きが活発になっています。ただし、考えておかなくてはならないのは、宇宙探査は巨大な資金を必要とするということです。ISSはすでに打ち上がっていますが、それでもメンテナンスに大変な金額がかかります。しかし民間というものは一定期間に利益が上がる見通しがなければ、新しい分野に入っていけません。ISSの維持も民間だけでは難しいと思いますし、月近傍の宇宙ステーションも民間の資金だけで実現できるものではない。つまり、宇宙のインフラ投資は民間ではなかなかできない。やはり国全体が宇宙探査という大きなプロジェクトに取り組み、そこに産業界も一緒に協力していく。それをみんなで考えることが大事ではないかと個人的には思っています。

ISEF2の成果を　さらに進める

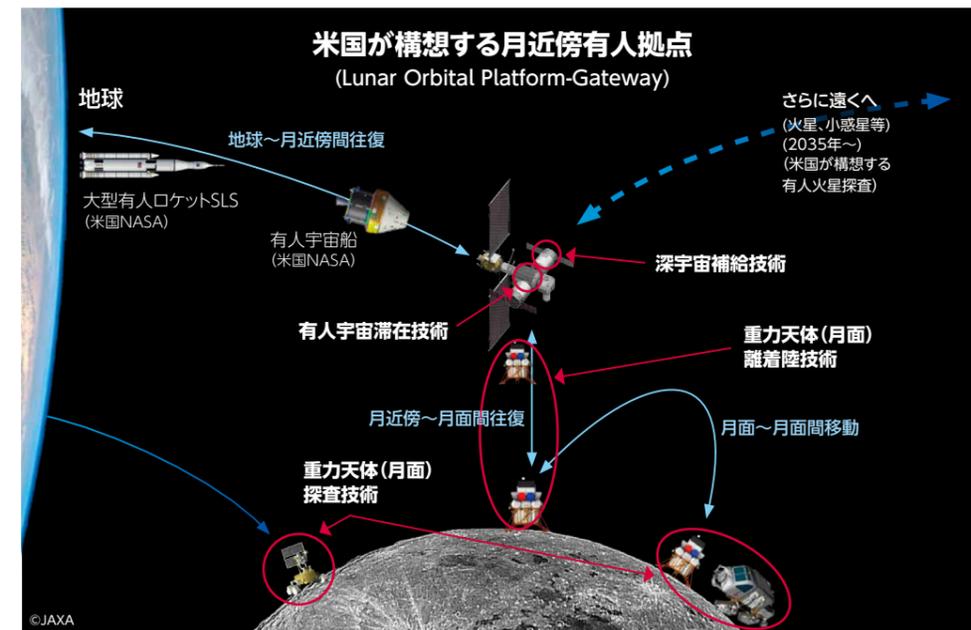
── 最後に、これからの国際宇宙探査に対する期待をうかがいます。

野口　月近傍、月面、火星への有人探査活動を、平和利用としているいろいろな国と一緒にやっていけることはとても喜ばしいです。われわれ宇宙飛行士もこれから国際宇宙探査にどのように関わっていけるか興味深いですね。宇宙はいずれ一般の方々も気楽に行ける場所になるでしょうから、幅広くいろいろな方と「これからの宇宙探査のあるべき姿」を話していきたいです。

── 向井さん、いかがでしょうか。

向井　私は現在、大学で学生たちを教えていますが、宇宙と聞いただけで学生の目が輝くのです。月や火星に行くことも夢ではないという土壌が日本にもできつつあるのは、とても良いことだと思います。若い人たちや産業界の人たちが宇宙の分野に参加し、仲間がどんどん増えることを期待しています。

── 藤崎大使、月や火星に行く道筋が見えるようになってきたことは、日本社会さらには若い世代にとって非常に大きいことのような気がしますが、いかがでしょうか。

藤崎　全く同感です。私たちが委員会で議論している間にも、国際宇宙探査をめぐる環境は急速に変わってきたと思います。ですからISEF2の成果をこれから進めていかなくてはいけません。若い人について言えば、子供たちのために「宇宙教育」というものに力を入れていただけるといいですね。

第2回国際宇宙探査フォーラム（ISEF2）、東京で開催

2018年3月3日、将来の国際宇宙探査の方向性について議論を行う閣僚級会合「第2回国際宇宙探査フォーラム（ISEF2）」が、東京で開かれました。2014年に米国ワシントンDCで行われた第1回会合を引き継いだもので、今回は日本が議長国となり、日本とともに国際宇宙ステーション（ISS）を運用する米国、ロシア、カナダ、ヨーロッパのほか、45カ国・機関が参加。「宇宙探査の重要性と利益」「国際宇宙探査の促進」「宇宙探査プログラム・プロジェクトのビジョンと推進」の3つのセッションで活発な意見交換がなされました。

各国・機関の代表は、米国の月周回軌道上の基地構想、中国やインド、民間企業による月探査計画などを視野に、今後に向けて新たな参加国や民間企業との連携や、探査を持続可能な形で実現することで合意。月や火星、さらにその先の太陽系まで探査の拡大を「国際コミュニティーで広く共有された目標」とするという共同声明とともに、天体の保護、科学データの無料公開、新たな市場や商業サービスの創出など、探査の際に守るべき指針「国際宇宙探査の原則」（東京原則）をまとめて発表しました。

このほか、本会合に合わせ、産業界対象の「I-ISEF」、次世代を担うヤングプロフェッショナル対象の「Y-ISEF」、高校生対象の「S-ISEF」もサブイベントとして開催されました。

また、JAXAでは、フォーラムの開催に先立ち、3月2日、欧州宇宙機関（ESA）のヨーハン＝ディートリッヒ・ヴァーナー長官との間で、両機関の連携の深化を図るための会合を開催。昨年5月に両機関間で設置されたワーキンググループの検討結果と今後の連携についての共同声明を発表しました。

©JAXA

©JAXA

©JAXA

SS-520 5号機による超小型衛星打ち上げ

中須賀 真一（なかすか しんいち）
東京大学
航空宇宙工学専攻
教授

羽生 宏人（はぶ ひろと）
宇宙科学研究所
宇宙飛翔工学研究系
准教授

稲谷 芳文（いなたに よしふみ）
宇宙科学研究所
宇宙飛翔工学研究系
特任教授

©JAXA

2018年2月3日内之浦宇宙空間観測所から、東京大学で開発された超小型衛星TRICOM-1R（愛称「たすき」）がSS-520 5号機により打ち上げられ、無事軌道に投入されました。この実証実験は、民生品を適用した宇宙機器の軌道上実証を目的とした、平成27年度宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業の採択を受けて実施されており、2017年1月の4号機の不具合の原因究明対策を短期間で対応した結果の成果でした。その経緯と意義について宇宙科学研究所の稲谷芳文教授、羽生宏人准教授、東京大学の中須賀教授に聞きました。

取材・文：寺門 和夫（科学ジャーナリスト）

スマートフォンでロケットを飛ばす

── 今回の実証実験について教えてください。

羽生　宇宙科学研究所では観測ロケットを運用しています。観測ロケットというのは、ロケット自身が宇宙空間を弾道飛行し、落下するまでの間に、宇宙観測や実験を行うロケットです。S-520はこれまで30回の打ち上げ実績があります。S520に第2段をつけたものがSS-520です。これを小型衛星打ち上げ用に改造したものがSS-520の4号機と5号機です。

稲谷　世の中も変わってきて、宇宙の仕事を国が独占ではなくなるという状況が作られてきました。私たちも科学や学術以外の世界で役に立つことで、より頼りにされ、幅広い実験ができるようになることを目指しています。私たちが維持運用してきた小型ロケットの技術と世の中の動き、それに中須賀先生たちが行っている小型衛星の打ち上げをうまく組み合わせられたらと思いました。経済産業省の資金が得られ、さらに民間の協力もあって始まった計画です。

── 観測ロケットを衛星の軌道投入用にするには何が必要でしたか。

羽生　民生品を使った徹底した軽量化が必要でした。稲谷先生いわく、このロケットではそれを「大胆にやる」ということでした。その「大胆に」という時に稲谷先生が出してきたのがスマートフォンでした。

稲谷　今のスマートフォンは能力がものすごく高く、ジャイロもGPSも入っている。衛星を打ち上げる機能は一式全部ありますよ。宇宙よりも民生の方がはるかに進んでいる。これでロケットを飛ばせるだろうと。

── そういう発想は最初からあったのですか。

羽生　最初からです。

稲谷　目標は高く設定しなくてはいけませんから。

羽生　これを目標に設計して持って行くと、「こんな弁当箱持って来やがって」と稲谷先生は怒るんです。何度もそういうことがありましたが、大胆なゴールに向かって進むのは正しいやり方だと思っていました。とても面白かったですね。

── 中須賀先生は小型衛星を打ち上げる立場から、この計画をどんなふうに思われましたか。

中須賀　私たちとしてはこのSS-520のような重量3kgぐらいの3U*の衛星を、目標軌道に自分の好きなタイミングで投入できる小型ロケットが欲しいのです。このロケットを実現させてほしいという強い思いで協力させていただいたわけです。ロケットは衛星を軌道投入してはじめて本当のロケットだと言われる。ですから、軌道投入を確認するだけではなく、ちゃんとした衛星を乗せるべきだと主張しました。実際に機能する衛星を打ち上げたと世界に言えれば、デモンストレーション効果は絶大だと思いました。そういう話の中から、「たすき」を作ろうということになったんですね。

全部を体験することが一番重要

── 軽量化以外にどんな課題があったでしょうか。

羽生　あとは人ですね。M-Vロケットが終了してからの宇宙研では、軌道投入の現場を知っている世代とのギャップが結構ありました。打ち上げに初めて携わるという人が多かったのです。

稲谷　H-IIやイプシロンのようなロケットは民営化されています。その時に、開発から打ち上げまで行える能力をJAXAがインハウスで持たなくていいのかという命題が出てきます。議論は必要と思いますが、私たちはやはり持つべきと考えています。

── 国の研究開発法人として、JAXAはそういう能力を持っておいた方がいいと思いますが。

中須賀　技術開発のプロジェクトマネジメントは、小さくてもいいですから、一通り体験することがとても大事です。

稲谷　小さいということは、次の回が早いんです。1～2年の間隔で何回か経験すると、若い人はすごく育つ。

中須賀　最後まで全部やってみることがすごく大事だと思います。僕らは平均すると2年に1回くらい衛星を打ち上げているので、学生はすごく力が付きます。1回失敗しても、それを次に反映することができる。そういう意味ではJAXAも4号機で失敗しましたが、それほど間隔をあけずに5号機で2回目の打ち上げをしたのはとても良かったと思います。失敗というのは、プロジェクトが小さいうちにやっておかなくてはいけない。昔の宇宙研は失敗が多かったですね。その人たちがいたから強いんです。できることしかやらなくなったら、進歩はないと僕は思います。

小さいロケットだからできる挑戦と経験

── 中須賀先生、「たすき」とはどういう衛星ですか。

中須賀　「たすき」の目的は三つあります。一つめは非常に弱い地上からの電波を受け取る受信機の実証、二つめは小さな衛星でも写真を撮るミッションができることの実証、三つめは写真を撮るまでの計画を自分で立てて、撮ったら地上局を最初に通過する時にすぐ伝送する自律化の実験です。三つ目は分離直後はうまくいかなくて再チャレンジをやりましたが、これら三つとも達成しました。

── 衛星は順調に動いていますか。

中須賀　順調です。軌道は2000kmと高いので放射線の影響がたくさん起こっています。放射線現象が起こると、装置がリセットするようにしてあるのですが、結構リセットがかかっています。

羽生　そういう話はすごく楽しいですね。

中須賀　楽しいです。衛星には何が起こっても絶対死なないような仕組みを入れています。何もなくても4000秒に1回は打ち上げ直後の状態に戻って、それでたいていの問題は解決する。僕らはとにかく強い衛星を作るということをずっとやってきたので、そのへんのノウハウがいっぱい詰まった衛星になっています。

羽生　「たすき」がはじめて地上の弱い電波を受信した時、私はたまたま中須賀先生のところにいたのですが、ミッションがうまくいって、中須賀先生がまるで少年のように喜んでいる姿を見て感激しました。

中須賀　その通りでしょう。だって衛星でミッションをやることは毎回うれしいですよね。

羽生　それを間近で見て、ああやって良かったと思いました。ロケットを打つということは、結局ここがゴールだとわかり、すごく勉強になりました。

中須賀　ありがとうございます。

稲谷　ロケットが普通に上がる世界になって、ロケットを打ち上げる仕事は「失敗しなくてよかった」が目的のようになっています。新しい挑戦をどんどんやって「うまくいって良かった」と思えるような仕事を作らないといけないと思います。SS-520という小さいロケットで、大きいロケットと違うことを若い人が経験したということに大きな意味があると思います。

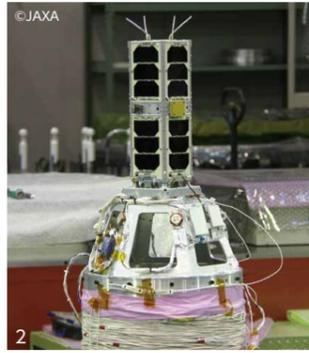
中須賀　そうなんです。「たすき」って図らずも良い名前を付けたと思っています。年寄りから若手への「たすき」なんです。羽生さんやその下の若手が育ったんですね。

民間との連携と技術の継承に期待

── 中須賀先生はSS-520というロケットをどのように評価されていますか。

中須賀　衛星を打ち上げる立場からは、コストが最大の関心事です。SS-520の低コスト化に対しての試みは外から見ていても非常に斬新だし、安価な民間の技術と組み合わせないと、将来世界と競争できるようなロケットはできないだろうと思っていました。打ち上げが成功してとても良かったです。望むらくは1機だけでなく、低コストのままシリーズ化してほしい。

©JAXA

©JAXA

1 » 2018年2月3日。内之浦宇宙空間観測所より打ち上げられるSS-520 5号機。
2 » 5号機で打ち上げられた超小型衛星TRICOM-1Rは「民生品を活用した宇宙機器の軌道上実証」を目的に経済産業省の支援を受け東京大学が開発した。写真は4号機に搭載されたTRICOM-1。

── お二人ともこれから先もチャレンジしたいという感じでしょうか。

稲谷　SS-520による衛星打ち上げは、宇宙研の観測ロケットの活動が揺るがない基盤で持続していたからこそできたことです。次の課題にチャレンジする機会をもらうとか、今度はそれを民間と一緒にやるとか、そんな事になっていけばいいと思います。このSS5号機をそのまま続けるのがよいかは議論だと思いますが、同種のことが続けられれば、もっといろいろなことが可能になり、活動の幅も広がり、官民問わず参加する人も増やせる。宇宙研の観測ロケットがそういうプラットフォームになればよいと思っています。

中須賀　せっかくの技術がここで閉じられてはいけないと思います。JAXAの中でシリーズ化してやっていくというのも一つの道だし、民間がそれをちゃんとしたビジネスにつなげていくというのでもいいと思います。

羽生　民間との連携は必要です。宇宙を全然やったことのない企業と接すると、コミュニケーションに苦労がたくさんあって大変です。しかし、それができるくらいにならないと、低コスト化といったゴールになかなか行き着きません。そういったところに気付かされた仕事でした。

── 今回の打ち上げで、どんな可能性が出てきたと思いますか。

羽生　今、世界には3Uで地球観測のビジネスをしているプラネット社のようなところもあります。3Uによる宇宙科学という世界があってもいいのではないかと思います。

中須賀　分解能を上げるために大型化という方向だけを追い求めていては、アメリカに勝てるわけはありません。そんな所で勝負しては駄目なんです。

稲谷　宇宙研批判になってきましたね。

中須賀　いやいや、期待を込めて申し上げているんです。

稲谷　世の中を先取りすることが、こういうロケットから始まれば、これをやった甲斐があります。

*3U：世界中の大学や研究機関で作られている統一規格の超小型衛星CubeSatのサイズ。CubeSatは縦10cm×横10cmで高さが10cmの1U、20cmの2U、30cmの3Uの三つのサイズがある。

日欧共同開発の地球観測衛星 EarthCARE

雲とエアロゾルの精密観測で温暖化予測の精度を高める

おかだ かずゆき
岡田 和之
第一宇宙技術部門
EarthCARE/CPR
プロジェクトチーム
主任研究開発員

とみた えいいち
富田 英一
第一宇宙技術部門
EarthCARE/CPR
プロジェクトチーム
プロジェクトマネージャ

世界的に地球温暖化などの気候変動に対する対策がますます重要度を増していく中、気候変動予測モデルの精度を高めるために、地球観測衛星によるデータ収集が重要になっています。
EarthCAREでは日本の開発した「雲プロファイリングレーダ」と、欧州の開発した「大気ライダ」などにより、気候変動予測における最大の誤差要因である雲とエアロゾルの量や高度分布などを観測します。
ミッションにおける日本の役割や日本の開発した技術について富田プロジェクトマネージャと岡田主任研究開発員に聞きました。

取材・文:寺門 和夫(科学ジャーナリスト)

四つの機器で全球の雲とエアロゾルの実態を明らかにする

── EarthCAREはどのような目的をもったミッションですか。

富田　IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告書にもあるように、地球が温暖化していることは疑う余地がありません。世界中の研究者が将来の気候変動をシミュレーションしていますが、その予測には幅があります。予測誤差の最も大きな要因となっているのが、雲とエアロゾルの効果です。EarthCAREは日本とESA（欧州宇宙機関）が共同開発している衛星で、シミュレーションの精度を上げるために、雲とエアロゾルの特性や高度分布を正確に観測することを目的にしています。

EarthCAREには四つの観測機器が搭載されます。その一つが、私たちが開発した「雲プロファイリングレーダ」で、電波で雲の高度分布を計測します。ESAではレーザー光でエアロゾルの高度分布を計測する「大気ライダ」を開発しています。この二つで全球の雲とエアロゾルの高度分布を同時に測ります。後の二つの観測機器は多波長イメージャーと広帯域放射計です。多波長イメージャーは雲の水平分布を測ります。これと高度分布を合わせることで、雲の三次元情報が得られます。広帯域放射計は大気上端の放射エネルギー量を測る装置で、EarthCAREの他の三つの観測装置で取得した雲とエアロゾルのデータから算出された大気上端の放射エネルギー量と実際に広帯域放射計で観測した結果で、言わば「答え合わせ」を行い、シミュレーションに使用するモデルの精度を上げていくのです。

宇宙から雲の上下の動きが測れる世界初の技術

── 雲プロファイリングレーダは画期的な機能を持っていますね。

富田　このレーダはJAXAとNICT（情報通信研究機構）が共同開発したもので、94ギガヘルツ帯という非常に高い周波数の電波をパルスで出します。雲を作っている水滴や氷晶、雨粒に電波が当たると、反射が戻ってきますが、そのとき、一番上の雲からの反射は早く、より下の雲からの反射はより遅く戻ってきます。どれだけの時間で電波が戻ってきたかを計測することで、どの高度にどれぐらい雲があるかが分かるのです。さらに、雲から戻ってくる電波のドップラー速度を測ることによって、その雲が上下方向にどのくらい動いているかを計測することもできます。これができるのは、EarthCAREの雲プロファイリングレーダが世界で初めてです。

── 1秒間にどれぐらいの数のパルスを発射するのですか。

岡田　通常のパルス数は1秒間に6100から7500パルスくらい、ドップラー速度をより良い精度で測る場合のパルス数は1秒間に7200から7500パルスくらいになります。

── ものすごい情報量になりますね。

岡田　はい、ドップラー速度を測らないレーダに比べると5倍のデータ量になります。得られたデータは衛星上で水平方向は500mごと、高さ方向は100mごとの値にして地上に送ります。

EarthCAREのCG。右端に見える円盤状のものが雲プロファイリングレーダ「CPR」。世界初のミリ波ドップラーレーダだ。

── なぜ雲の高度分布を測る必要があるのでしょうか。

富田　雲は高度によって温暖化への寄与が変わります。上層の雲は毛布のような効果で地表面から熱が逃げるのを妨ぎ、温暖化に寄与します。一方、地上に近い雲は日傘のような効果で、太陽からの放射を遮って、地表面の温度を下げる効果を持ちます。エアロゾルというのは空気中を漂っている微粒子です。黄砂や火山噴火などの自然現象や、工場や車の排ガスなど人間活動で発生します。こういったものが白い雲の上にあると、宇宙からは黒く見えるので太陽光の吸収が大きくなり、地球を暖めます。一方で雲の下にあるエアロゾルにはそういった効果はありません。したがって、雲とエアロゾルの上下関係がどうなっていて、それらが地球のエネルギー収支にどう影響するかを知り、それを数値モデルに反映させることが、気候変動予測にとって非常に重要なのです。

── 雲プロファイリングレーダの開発で難しかったのは、どのようなところですか。

富田　雲の上下方向の速度を測ることです。雲はほとんど動かないか、動いてもせいぜい1秒間に数mなのです。それに対してEarthCAREは1秒間に7.8kmで移動しています。電波を真下に向けて発射して雲の速度を測るのですが、もしも電波の方向が少しでも傾くと、衛星自体のスピードが計測結果に混じってしまい、雲の上下方向の速度が分からなくなってしまいます。つまり、非常に高い指向精度が要求されるのです。そのため、必要な計測精度が出るように設計段階でさまざまな解析を行いました。また、レーダのアンテナにも熱によるひずみを抑える工夫をしました。

岡田　高い指向性を保つために、雲プロファイリングレーダのアンテナはすべてCFRP（炭素繊維強化プラスチック）で作っています。通常の人工衛星のアンテナでは、熱ひずみに強くするために表面にCFRPを使いますが、コアと呼ばれる内部構造にはアルミニウムが使われています。CPRでは、このコアまで全てCFRPを使用しています。全部がCFRPで作られたアンテナが宇宙で使われるのは、雲プロファイリングレーダが初めてです。

── 研究者の方々はEarthCAREに期待されているでしょうね。

富田　上昇・下降することで雲は発生し、また消滅するので、気候の予測には、雲の上下方向の速度の情報が必要です。しかし、現在は、全球の雲の上下方向の速度の情報がないため、気候シミュレーションには、この速度は数式で模擬されています。EarthCAREでは初めて雲の上昇下降速度の全球のデータが計測されるため、期待していただいていると思っています。EarthCAREのデータが正しく有効に使えるように、私たちは日本やヨーロッパの研究者と一緒に準備を進めています。EarthCAREは世界中の研究機関がより正確な予測を実現することを目的にしており、日本の研究者も雲プロファイリングレーダのデータだけでなく、他の観測装置のデータも組み合わせながら使うことができます。

苦労も多い分、プロジェクトの成功に期待

── お二人はEarthCAREにいつ頃から関わられたのでしょうか。

富田　私は2013年からです。CPRの詳細設計を確認するところから参加をしています。その前は超高速インターネット衛星「きずな」や通信放送技術衛星「かけはし」を担当していました。熱帯降雨観測衛星「TRMM」の降雨レーダや全球降水観測「GPM」主衛星の降水レーダの実績があり、衛星搭載レーダは日本が強い分野です。EarthCAREは日本の技術力を世界に示すことのできるプロジェクトだと思っています。

岡田　EarthCAREがプロジェクトとして発足したのは2008年ですが、私は2005年の立ち上げの段階から関わっています。EarthCAREは衛星本体がESAで開発されたこともあり、搭載する装置に対しての要求条件が非常に厳しくなっています。その条件をクリアするのに苦労しました。

── 打ち上げはいつ頃を予定していますか。

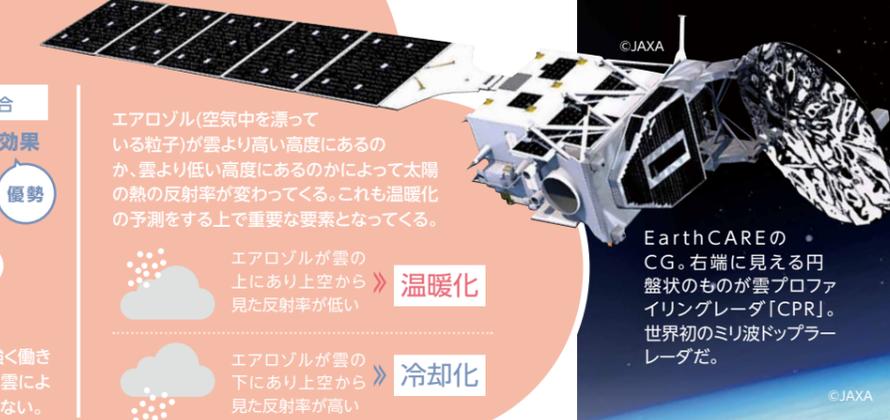
富田　ESAと最終調整をしているところですが、現在の計画上では2019年です。EarthCAREはチャレンジングなミッションで、ESAの大気ライダも開発に大変苦労しているのだろうと思います。私たちのレーダは2017年にヨーロッパで確認試験をし、今、日本で保管しています。一部修理が必要ですが、それが終わればESAに引き渡すことになります。

── 打ち上げまでかなり時間がかかっていますが、チームの方々のモチベーションは高いですね。

岡田　プロジェクトが着実に進んでいることが確認できるように見える化の工夫をしています。プロジェクト全体で共有するべき課題に応じて複数のリストを作成し、毎週の定例会にて定量的に進捗状況が見えるようにしています。各リストには担当者を割り当てており、一つずつでも着実に進捗しているという事を意識して業務に取り組めるように、けっして足踏みしているわけではないことが目に見える形で仕事をしています。

── 打ち上げられてデータが出た時に対する期待みたいなものを最後に伺いたいのですが、いかがでしょうか。

富田　雲の上下方向の速度はこれまで地上レーダでしか観測されていません。宇宙から得られた全球のデータがシミュレーションに反映され、これまでにない結果が出ることを期待しています。

岡田　国際協力には苦労も多いのですが、自分たちのしていることが地球温暖化対策に生かされ、人類に貢献できることを期待しており、また楽しみにもしています。

「はやぶさ2」相模原に！

「始原天体探査」コーナーには小惑星探査機はやぶさ2（実物大模型）が展示されている。左下の球体は小惑星リュウグウの推定形状模型。「探査機の運用・管制」コーナーでは、実物の管制卓を使ったはやぶさシミュレーターで探査機の制御を学ぶこともできる。

2018年2月2日、JAXA相模原キャンパスに「宇宙科学探査交流棟」がオープンしました。同施設は、宇宙開発技術を通じてイノベーションに貢献する「宇宙探査イノベーションハブ」の一環として設けられたもので、大学や研究機関、民間企業等との交流の活動拠点となることが期待されています。また、広く一般にも開放することで、相模原キャンパスで行われている研究や宇宙探査について理解を深めてもらうという役割も担っています。

施設内は、日本における宇宙科学探査の道のりを紹介する「宇宙科学のあゆみ」のほか、「ロケット」「大気圏突入技術」「探査機の運用・管制」「始原天体探査」など10のコーナーに分かれており、日本における宇宙科学探査の歴史や、探査に用いられているさまざまな技術、現在行われている探査、将来計画について知ることができます。

小惑星探査機「はやぶさ」を宇宙に運んだM-Vロケットの3段目・4段目や、「はやぶさ」再突入カプセル、観測ロケットS-520実寸大模型、「はやぶさ2」実寸大模型、月惑星探査ローバ実験機など、同施設でしか見られない展示も多く、それぞれのコーナーごとに研究について、パネルを使って分かりやすく紹介されています。

「宇宙科学探査についてより関心を深めていただけるように、多くの展示物は、あえてケースや柵で仕切らず、間近で見ていただいたり、手で触れていただいて、構造や質感を体感していただけるように心がけています」（宇宙科学広報普及主幹付主査・大川拓也）

同施設での宇宙科学研究をテーマとするさまざまな分野の人々の出会いや、若い人の学びの体験が、日本の宇宙科学研究や、新たな技術開発のきっかけとなることが期待されます。

JAXA相模原キャンパス
宇宙科学探査交流棟

〒252-5210
神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1
TEL. 042-759-8008
（電話受付時間：平日9:30〜17:45 / 12:15〜13:00は休み）

- 入場無料
- 開館時間／10:00〜17:30（入館は17:15まで）
- 休館日はウェブでご確認ください。
  http://www.isas.jaxa.jp/visit/
  （宇宙科学探査交流棟にお越しの方は、交流棟の受付カウンターで受付をしてください）

1 » 交流棟の入口を入ると、巨大なM-Vロケットの先端部分（実物）が目に飛び込んでくる。展示物の中には手で触れられるものも多い。
2 » 「月・火星探査」コーナーに展示されている探査ローバMicro-6（実験機）。探査ローバの構造を間近で見ることができる。

最初の夢が叶うとき

小惑星探査機「はやぶさ2」いよいよリュウグウ到着へ

文：吉川 真（よしかわ まこと）
宇宙科学研究所 宇宙機応用工学研究系准教授
はやぶさ2ミッションマネージャ

ONC-Tカメラで撮影された小惑星リュウグウ。2018年2月26日の12時頃（日本時間）から約3時間半ごとに撮影された3枚の写真を重ねたもので、中央付近に3つ並んでいる星像がリュウグウ。リュウグウはこの画像で左から右に動いている。

リュウグウ

運用訓練で想定した仮想のリュウグウ「リュウゴイド」。4億に近いポリゴンで作成されている3Dモデル。これをコンピュータの中で想定し、「はやぶさ2」をこの周りで運用する訓練を行った。

ついに小惑星探査機「はやぶさ2」から小惑星リュウグウが撮影できました。2018年2月26日、探査機がちょうど都合のよい位置に来たことを利用して、「はやぶさ2」に搭載されている望遠の光学航法カメラ（ONC-T）をリュウグウの方向に向けて撮影を行ったのです。当初の予定では、撮影された画像を探査機から地球に伝送するのは1週間ほど後ということになっていました。しかし、探査機を運用するメンバーが工夫をして、翌日の27日に9枚の画像を探査機から降ろしてくれたのです。そして、ONCのチームが迅速に作業をしてくれました。すると、取得された画像のまさに想定された位置に、リュウグウが写っていたのです。まだ小さな点ですが、目的地が確認できたのは、長年このミッションに関わってきた者としては、本当に感慨深いものでした。

「はやぶさ2」が打ち上がったのは3年以上も前の2014年12月3日です。打ち上げ当初は、到着まで3年半もあると思っていました。ところが、その時間はあっという間に過ぎ去ってしまった感じです。さらに言えば、「はやぶさ2」が正式なプロジェクトになった2011年5月からは7年、そして、そもそも「はやぶさ2」を最初に提案した2006年からは12年が経ちました。2006年というと、「はやぶさ」が重大な危機に陥った次の年です。この12年という歳月の間には実にさまざまなことがありました。2011年5月というのは、東日本大震災の直後で日本全体が大変な時でした。2018年という今になって「はやぶさ2」がこのようにリュウグウを見ることができたということは、筆者にとって本当に感慨深いものなのです。

もちろん、はやぶさ2プロジェクトメンバーは感慨に浸っているような場合ではありません。リュウグウ到着に向けて探査機を運用しながら、到着したあとのスケジュールの検討やリュウグウ近傍での複雑な運用に備えた訓練を行っているのです。以下では、これらのことについて紹介します。

まず、探査機の運用ですが、到着前の重要な運用はイオンエンジンの運転です。2015年12月の地球スイングバイの後、3回の長期のイオンエンジンの運転が必要になります。その最後のイオンエンジンの運転が2018年1月10日から始まりました。幸い、イオンエンジンはこれまで非常に順調に動作してきましたが、この3回目の長期運転に関してはより緊張した運転になっています。その理由は、もしイオンエンジンが予定通りに動作しなくて加速が足りなくなってしまうと、リュウグウに到着できないことになるからです。あるいは、到着がかなり遅れてしまうことになります。1回目、2回目のイオンエンジン長期運転のときには、仮にトラブルがあったとしても、後で挽回できます。ところが3回目はそういうわけにはいきません。小惑星到着直前までイオンエンジンを運転する必要があるからです。イオンエンジンが順調に動いて探査機がリュウグウから2,500kmくらいまで接近すると、そこからはイオンエンジンを止めて最終接近フェーズに入ることになります。

リュウグウ近傍での運用に備えた訓練ですが、LSS（Landing Site Selection）訓練とRIO（Real-time Integrated Operation）訓練というものを行っています。LSS訓練の方は文字通りに着陸地点を決める訓練ですが、ランダ・ローバを降ろす場所や衝突装置によるクレーター生成の場所も決めることになります。限られた時間で多くの人が関わって科学的・技術的に検討します。RIO訓練の方は、小惑星への接近降下や着陸などのクリティカルな運用について、探査機のシミュレータを用いて本番と同じ時間（リアルタイム）で運用の練度を高める訓練になります。これらの訓練は、架空のリュウグウを想定して、2018年の4月頃まで行っています。

最後にリュウグウに到着した後のスケジュールですが、実は、スケジュールが最終的に決まるのはリュウグウに到着してリュウグウの様子をきちんと把握してからになります。リュウグウの大きさ、形、表面の様子、自転軸の向き、重力などによって、探査機の運用の仕方が変わることになるからです。現時点では、最もありそうなリュウグウを想定してスケジュールを作っており、それをノミナルスケジュールと呼んでいます。ですが、このノミナルスケジュール通りになるかどうかは分かりません。

リュウグウがどんな表情をもった小惑星なのかが分かるのは、2018年6月末から7月にかけての予定です。非常に楽しみであると同時に、「はやぶさ2」の運用をする立場としては緊張感が高まってきています。

■ 小惑星近傍でのノミナルスケジュール

年	月日	事項	状況
2018	1月10日	第3期イオンエンジン運転開始	済み
	6月初め	イオンエンジン運転終了	計画
	6月初め	小惑星接近誘導開始（距離2,500km）	予定
	6月21日〜7月5日	小惑星到着（高度20km）	予定
	7月末	中高度観測1（高度5km）	予定
	8月	重力計測降下（高度1km）	予定
	9月〜10月	タッチダウン運用スロット1	予定
	9月〜10月	ローバ投下運用スロット1	予定
	11月〜12月	合運用（通信不可の期間）	予定
2019	1月	中高度観測2（高度5km）	予定
	2月	タッチダウン運用スロット2	予定
	3月〜4月	クレーター生成運用	予定
	4月〜5月	タッチダウン運用スロット3	予定
	7月	ローバ投下運用スロット2	予定
	8月〜11月	小惑星近傍滞在	予定
	11月〜12月	小惑星出発	予定

このスケジュールは、2018年3月現在で想定しているもので、ミッションの進捗状況や小惑星リュウグウの状況などによって変更される可能性がある。

金井宣茂（かないのりしげ）宇宙飛行士のISS滞在報告

第54次／55次長期滞在クルーとして、2017年12月より国際宇宙ステーション（ISS）に滞在中の金井宣茂宇宙飛行士。ミッション前半の活動を振り返ります。

ミッション前半の活動をプレイバック！

「きぼう」日本実験棟のエアロックのバルブを操作する金井飛行士。

1 国際宇宙ステーションでの滞在開始！

金井飛行士が国際宇宙ステーションへ向けて出発したのは2017年12月17日、到着したのは2日後の19日でした。ところが、軌道上へ行ってからのツイッターの最初のつぶやきは12月25日。その1週間あまりの間、何もしていなかったというわけではなく、慣れない微小重力環境での最初の実験対応などで大忙しだったのでした。

金井飛行士によるAsian Try Zero-Gの軌道上の実験を見守る参加国の学生たち。

新たなミッションである、軌道上のアミロイド実験の様子。

2 到着早々、相次ぐミッションに従事

金井飛行士には軌道上滞在中に約32の実験ミッションが計画されています（2017年11月時点）。その中には、日本の“お家芸”といえる病気のもととなるタンパク質の構造を知るための結晶生成実験や老化現象の解明に役立つことが期待される小動物飼育ミッションなどがあります。そして今回、新たにアルツハイマーや糖尿病などの原因となるアミロイド線維の形成機構を調べるための実験を行い、無事完了しました。このほかにも宇宙環境の人体への影響についてもさまざまなデータ取得を行いながら、人がより長く宇宙に滞在するために必要となる知見が、有人宇宙滞在技術獲得の一環として蓄積されています。

また、生物学・医学的な研究の他にも、材料を浮遊させた（=容器の不純物の影響がない）状態で溶解させる、物質の特性を知るための静電浮遊炉（ELF）という実験なども行っています。2月13日には、国際協力の一環として「Asian Try Zero-G」というアジア圏の学生たちから募集した実験テーマを、地上で学生たちが見守る中、実施しました。

3 ミッション達成を導く地上との連携

金井飛行士と地上の管制官との連携は、打ち上げの半年以上前から始まっています。実施する実験については一緒に手順書を確認し、訓練を通して不明点を払拭。また、確実に実験を達成して、実験提案者へ成果を届けるため、提案者の実験に対する思い、実験を行う際のコツなどをヒアリングしています。

軌道上へ行ってからは、スケジュール管理ツールやメールなどでミッションの進捗状況の確認や調整を、宇宙と地上が一丸となって進めています。なお、金井飛行士には実験だけでなく、「きぼう」日本実験棟のメンテナンス作業を依頼することも。地上の技術スタッフも連携しながら「きぼう」がいつでも実験ができる環境であるようにしているのです。

日本人として6年ぶり4人目の船外活動を行った。

4 日本人4人目！初の船外活動に挑む

金井飛行士の船外活動は日本人として4人目、2012年の星出彰彦飛行士から実に6年ぶりでした。初めての船外活動でありながらもパートナーのマーク・ヴァンデハイ飛行士（アメリカ）と、当初の予定より多くの作業を実施しました。地上からサポートしたのは現在アメリカで訓練をしている先輩の星出飛行士。日本人宇宙飛行士同士の連携による船外活動で、日本の国際宇宙ステーション計画をより広く知っていただけたのでは？

宇宙からSNSやブログで情報発信中！

金井飛行士は海上自衛隊の医師（潜水医）出身。今回のミッションでは「健康長寿のヒントは宇宙にある。」というテーマで、自身のバックグラウンドである”医師の視点”から、軌道上で実施している実験を、ツイッターやブログで紹介しています。ぜひチェックを！

- ▶ ツイッター公式アカウント　金井 宣茂 (@Astro_Kanai)
- ▶ 公式ブログ「宇宙、行かない?」　https://ameblo.jp/astro-kanai/

実際の飛行データから航空機を評価

飛行特性の解析を究めたい

操縦によって航空機がどう反応するのかを調べて、モデル化する——。
一般的にはあまり知られていない飛行特性は、
どのように取得し、どのように利用されるのか?
JAXAの実験用航空機を使い、飛行特性の解析を続けている、
航空技術部門飛行技術研究ユニットの
成岡優研究開発員に話を聞きました。

取材・文:水野 寛之

なるおか まさる
成岡 優
航空技術部門
飛行技術研究ユニット
ジェットFTBセクション
研究開発員

実験用航空機「MuPAL-α」と成岡研究開発員。機体の内部には飛行試験用の機器が配置されている。

航空機の操縦性と安定性の評価基準、飛行特性

航空機を評価するには、「飛行諸元」と「飛行特性」が用いられます。飛行諸元は、最大速度や飛行距離、最大高度など航空機の能力を示すもの、飛行特性は、操縦や風といった変化に対して航空機がどのように応答し、どのように飛ぶか性質を示すものです。例えば、飛行中に操縦桿を右に倒せば、機体は右に傾いて右方向へ曲がります。ただし、舵を切ってから実際に機体が傾いて飛行する方向が変わるまでに時間差があります。エンジン出力を上げるようスロットルレバーを操作してから、実際に速度が速くなるまでにも時間差があります。こうした時間差は機種によって異なります。また、操作によって、機体がどのような動きをするかも機種によって異なってきます。

「このように舵やスロットルの操作(入力)に対して、機体がどのように反応(出力)するのか? それが飛行特性の代表例です。航空機の操縦性と安定性の評価基準といえます」と、飛行技術研究ユニットの成岡優研究開発員は語ります。

飛行特性を把握していないと思わぬ事故につながる可能性もあります。特に民間の航空機では、商品になるまでに飛行特性を把握することが求められています。航空機にとって飛行特性は非常に大切な評価基準なのです。

異なる操縦パターンで実験用航空機の動きを計測

成岡研究開発員は、JAXAの実験用航空機「飛翔」や「MuPAL-α」を使って飛行特性を解析しています。飛行特性を解析するための入力側のデータは操縦桿の動きやスロットルの操作です。これに対する出力側すなわち航空機の動きは、加速度や傾きを計測するセンサーなどによって計測されます。また、飛翔とMuPAL-αの機首に取り付けられたノーズブームには、対気速度を計測する装置が設置されています。飛行経路の計測にはGPSが使われます。

飛行特性解析用のデータを集める際には、特定の操縦パターンによって飛行を行うことがあります。一例を挙げると、一定の速度で飛行中に、右に3秒、次に左に2秒、さらに右に1秒、左に1秒と舵を切ります。このような操縦パターンは複数あり、計測の際には成岡研究開発員が同乗して、パイロットに操縦パターンの指示を出して操縦してもらいます。通常、旅客機では、できるだけ急激にGがかからないように操縦しますが、飛行特性解析のためには、ジェットコースターのようなGが急激に変化する操縦を行い、それを計測することもあります。そんな飛行でも成岡研究開発員は「パイロットじゃないのにパイロットになった気分になれて、とても楽しい。天職だと思います」と語ります。

実際の飛行では、いつでも同じ条件とは限りません。天候や気圧、季節などによってばらつきがあります。また、風が乱れている時に計測したデータは、飛行特性の参考にはなりません。そのため、他の目的で実験用航空機が飛行する場合でも、常に飛行特性の解析のためのデータを集めています。

飛行特性のデータを航空機のモデル化に活かす

航空機開発の現場では、設計した航空機ができあがった時に、想定した飛行特性を持っているかどうかが、実際の飛行で評価されます。さらにデータを解析して得られた飛行特性は、精度の高いコンピュータ・シミュレーションを行うためにも用いられています。この解析作業はモデル化といわれ、数式を用いて航空機の入出力の関係が記述されることになります。実際に飛行している航空機のデータからモデルを作成することで、シミュレーションはより実際の航空機の運動に近いものへと近づいていきます。逆に言えば、きちんと飛行特性を把握しないと、良い、すなわち、実物に近いシミュレーションはできません。

成岡研究開発員はさらに、「解析の結果は飛行シミュレーションに利用されるほかに、設計段階で活用される風洞試験、およびCFD(Computational Fluid Dynamics:数値流体力学)解析の結果と比較検討することにも用いられます。風洞・CFD・飛行が連携することで、それぞれの精度を向上させる取り組みです」と語ります。風洞内に航空機の模型を置いて行う地上試験と、コンピュータによるシミュレーションに加え、実験用航空機を実際に飛ばして計測した飛行データを連携して用いることにより、航空機の設計時間の短縮や効率化を図ることで、JAXAは航空業界に貢献しようと考えています。

成岡研究開発員は大学時代に行っていた研究でJAXAの実験用航空機を利用したことがあり、JAXAに入社後も実験用航空機に携わっています。実験用航空機のスケジュール管理なども担当しています。また、「試験の際に航空機の一部を改造する場合が多いので、航空機を管轄する国土交通省航空局との折衝なども行っています」。2017年に行われたFQUROHプロジェクト(機体騒音低減技術の飛行実証)の飛行試験では、機体騒音低減デバイスを機体に装着して飛行を行いました。新たなデバイスを装着しても安全に飛行できることを航空局に対して証明する窓口となり、試験の許可をもらうことも成岡研究開発員の仕事です。

実験用航空機「MuPAL-α」の機首に装着されたノーズブーム。飛び出している部分がセンサーになっている。

JAXAの実験用航空機には、ジェット機の「飛翔」とプロペラ機の「MuPAL-α」などがある。写真は「MuPAL-α」の機内。

「飛翔」のスケジュール管理も担当するなど成岡研究開発員の仕事は多岐にわたる。写真は2017年9月に実施された騒音源計測試験(FQUROH)時の「飛翔」。翼後方や脚のオレンジ色パーツが改造で付け足したデバイスだ。

"ミサワホーム×JAXA"

南極での経験と実績を生かして、有人月面基地建設に向けた取組がスタート

「宇宙探査イノベーションハブ」における
JAXAとミサワホームの共同研究プロジェクトがスタートした。
半世紀以上、南極昭和基地での建物建設に携わる同社が月面基地建設に向けて、
そのノウハウを生かしつつ、JAXAとの新たな技術開発に挑む。
月面や火星での建設に向けての取組は、地上での未来の住宅作りに向けた
技術革新につながることが期待される。

取材・文:井上 晋

左はミサワホーム株式会社取締役常務執行役員、作尾徹也さん。右は技術部耐久技術課長兼かぐやPJリーダー、秋元茂さん。

©JAXA/ミサワホーム

過酷な環境下の建物建築で培われたノウハウを生かした宇宙への挑戦

JAXAでは大学、研究所、民間企業など異分野の知識や技術を活かし、これまでにない新たな体制・取組で宇宙探査技術の研究開発を行うために、2015年4月1日に「宇宙探査イノベーションハブ(愛称:TansaX)」を設置し、活動に取り組んでいます。2017年9月1日、この活動における第3回の研究提案募集で、ミサワホーム株式会社の提案が採択され、JAXAと共同で研究・開発を行っていくことが決まりました。

今回、同社が応募したのは「拠点構造物の建築・拡張・維持の省力化／自動自律型探査分野」で、「持続可能な新たな住宅システムの構築」をテーマに、月や火星の有人基地開発を見据えたJAXAとの共同研究が進められることになります。

同社では50年以上に渡って日本の「南極昭和基地」で観測隊員の活動や生活を支えている建物の部材製作を担ってきました。南極という過酷な環境下で建物を建て、維持するためにはさまざまな条件をクリアすることが求められます。

「昭和基地周辺はマイナス45℃にもなり、極寒の中での断熱性能が求められますし、輸送の観点から資材の重量に制限があるため軽量化も必要です。そして何より建物は建築の専門家ではない隊員の皆さんが組み立てることになるので、パネル工法にするなど工業化をしなければなりません。また組み立てられた建物は、風速60m、時速に換算して216km、つまり新幹線の走行速度に匹敵する暴風に耐える強度も求められます」

こう語るのは、自身も第51次南極地域観測隊越冬隊の一員として現地に赴いたことのある同社技術部耐久技術課長の秋元茂氏です。

「宇宙では、南極以上に制約条件が大きくなるため、これまで以上にメンテナンスの効率化やトラブルに対応するためのセンサー技術の向上なども必要になるでしょう。私たちにとって宇宙は未知の環境です。プロジェクトのスタートにあたって、JAXAの方々から、例えば地球の6分の1の重力環境とはどのようなものなのか、月には地震があるのか、風は吹いているのかといった基礎的な情報を集めることから始めているところです。JAXAがこれまで蓄積してきた宇宙探査に関わる知見は、設計条件を整理するためにも欠かせません。宇宙における設計条件を精査して、宇宙で応用できる技術を地球上できちんと確立することが重要です。20年後、30年後を見据えてこうした技術開発に取り組むことは、宇宙だけでなく地上においても、これまで以上に付加価値の高い『未来住宅』を作ることに貢献するものと思います」(秋元氏)

宇宙を舞台に高まるモチベーション 常識にとらわれない新たな技術開発に挑む

今回の提案採択を機に、同社では「かぐやプロジェクト」というプロジェクトチームを立ち上げました。チームは生産技術、設計、構造、温熱環境など、それぞれ得意分野を有する14名のメンバーで構成されています。

「JAXAの月周回衛星『かぐや』が、月の表面の鮮明な画像を送ってきたことが記憶にあったことと、新しいことに取り組むに当って堅苦しい名前ではなく、柔らかなイメージがいいだろうと思って名付けました」

こう語るのは、チームの名付け親で同社取締役常務執行役員の作尾徹也氏です。プロジェクトチームのメンバーは、秋元氏が直接声を掛けて集めました。

「宇宙を舞台に仕事をするということもあって、今回のプロジェクトのインパクトは大きかったですね。最初は『自分に何ができるのだろうか』という戸惑いも見られました。でも今は、宇宙を舞台にこれまでの常識にとらわれずに新しいことに挑戦するプロジェクトということで、モチベーションも高まっています」(秋元氏)

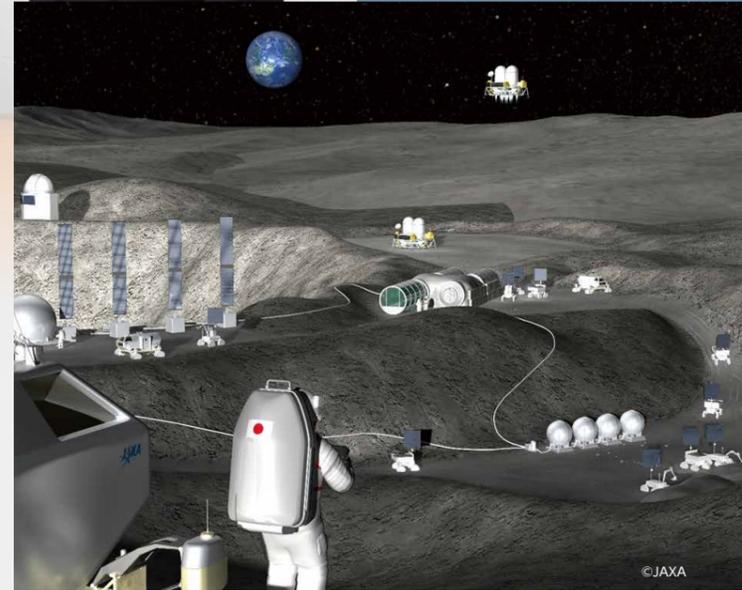
これまで宇宙やJAXAとのつながりのなかった同社ですが、今回新たにJAXAとのコラボレーションによってもたらされる影響に、作尾氏も大きな期待を寄せています。

「私にとってJAXAといえば、『はやぶさ』の印象が強いですね。緻密な制御技術、正確な運航計画で日本の技術力の高さを証明してくれた。そんなJAXAと共同で研究ができることにワクワクしています。宇宙という厳しい環境で、建築がしやすく、かつクオリティの高い住居を作るための技術を磨くことにはチャレンジのしがいがあります。JAXAとの共同研究を通じて、さまざまなことを貪欲に吸収していきたいですし、当社の南極での経験は、宇宙に住居を作る技術だけでなく、そこに住み続けたり、使い続けるための新たな技術を開発する上で必ず生かされると思っています。このプロジェクトを通じて、JAXAが今行っている研究や技術開発がどのようなものなのかを可視化していただけること、民間企業の参入によってボトムアップを図ろうとされていることにはとても期待しています。双方の力を結集することで大きな成果がもたらされると思います」(作尾氏)

「宇宙探査イノベーションハブ」は、国の研究機関であるJAXAと民間企業が、それぞれの持つ強みを生かして、技術力を高めようとする新たな試みです。そこで得られた新たな技術は、JAXAによる宇宙での応用とともに、民間企業によるビジネスへの活用を通じて、宇宙と地上双方に画期的なイノベーションをもたらすはずです。

ミサワホーム株式会社

1967年に設立された総合住宅メーカー。南極昭和基地の建物建設には、会社設立当初から携わり、同社による南極における建物受注は累計36棟、延床面積約5,900m²に及ぶ。

©JAXA

将来の月面基地の想像図。宇宙探査イノベーションハブでは、月面での有人滞在拠点建設のさまざまな技術の開発を多くの企業や研究機関と共同で行っています。

©ミサワホーム

ミサワホームが携わった南極昭和基地の自然エネルギー棟

「つばめ」(SLATS)搭載[原子状酸素モニタシステム]
Atomic oxygen MOnitor

原子状酸素の材料への影響を探れ

将来の超低高度衛星に最適な素材とは?

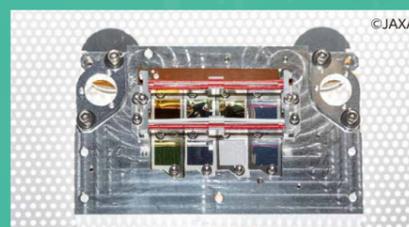
昨年12月に打ち上げられた超低高度衛星技術試験機「つばめ」(SLATS)。人工衛星を超低高度軌道で運用する際、熱制御材などを損傷させる原子状酸素の影響は避けて通れません。その影響を調べることも「つばめ」に与えられたミッションの一つです。「つばめ」に搭載された原子状酸素モニタシステムを開発した研究開発部門第一研究ユニットの木本雄吾研究領域主幹と後藤亜希研究開発員に話を聞きました。

取材・文:水野寛之

超低高度衛星技術試験機「つばめ」
将来の超低高度軌道空間活用のため、AMOやイオンエンジンなどさまざまな技術の実証を行う。画像はイメージCG。
©JAXA

原子状酸素とは?

地表付近の酸素は通常二つが結合した酸素分子(O_2)として存在しますが、低高度軌道では太陽からの紫外線の影響で分解され、酸素原子(O)の状態で存在します。これを原子状酸素(AO:Atomic Oxygen)と言い、高度が低くなるほど密度が高くなります。AOが樹脂のような有機材料に衝突すると、材料を浸食することが知られています。

©JAXA

材料劣化モニタ(MDM)
小さな窓一つ一つに異なる材料サンプルが設置されており、撮像データの画像解析によりピンホールを検出する。

©JAXA

原子状酸素フルエンスセンサ(AOFS)
先端部分の凹みにポリイミド樹脂が塗布されており、その質量減少量を計測する。

©JAXA

真空複合環境試験設備
筑波宇宙センターに設置。地上模擬試験で使用され、宇宙空間を模擬した真空チャンバ内で放射線や原子状酸素を照射する。

木本 雄吾(きもと ゆうご)
研究開発部門
第一研究ユニット
研究領域主幹

©JAXA

後藤 亜希(ごとう あき)
研究開発部門
第一研究ユニット
研究開発員

©JAXA

超低高度軌道での原子状酸素計測は世界初の試み

> ついに「つばめ」が打ち上げられました。今の気持ちは?

木本　やり遂げたという気持ちと、これからだという気持ちが半分ずつあります。打ち上げてから約1カ月で原子状酸素モニタシステム(AMO)の初期の動作確認を行い、機能に問題がないことが分かってホッとしている半面、原子状酸素の計測はもっと軌道が低くなってからが本番なので、まだ気は抜けないですね。

後藤　「つばめ」の打ち上げが無事成功し、AMO が正常に動いていることを確認できて、とても安心しています。これから AMO のデータ解析を実施することで、超低高度における原子状酸素の存在量や、原子状酸素と材料の間の反応について、新しい知見が得られることが楽しみです。

> AMOを開発したきっかけは?

木本　低い軌道に原子状酸素が存在することは、以前から知られていました。しかしながら、スペースシャトルが登場し、高度200 km程度の低軌道に1～2週間滞在、その後地球に帰還した際、機体表面などの材料が削られていることが分かり、あらためて原子状酸素の問題が認識されました。たとえば熱制御材が削れて効果がなくなってしまうと、人工衛星などの宇宙機は壊れてしまう可能性が高くなります。高度400 kmの軌道を巡る国際宇宙ステーション(ISS)でも、同様の問題が発生します。「つばめ」の軌道よりは原子状酸素は少ないですが、長期間軌道に留まるため、大きな影響を受けることになりかねません。そこで、原子状酸素の本格的な研究が始まったのです。

原子状酸素が桁違いに多い、超低高度軌道に1～2年間滞在することになる超低高度衛星技術試験機「つばめ」では、原子状酸素の影響を把握する必要がありました。そこで、2009(平成21)年度から、AMOの開発を開始しました。

> AMOには多くの材料サンプルが使われているようですが。

木本　AMOは、「原子状酸素フルエンスセンサ(AOFS)」と「材料劣化モニタ(MDM)」のふたつから構成されています。AOFSのセンサヘッドは親指ほどの大きさで、ポリイミドという原子状酸素に反応する樹脂が水晶振動子微少天秤(QCM)の上に塗布されています。原子状酸素がぶつかると、ポリイミドが削れて質量が減るので、その減少量から原子状酸素の量を推定できるのです。「つばめ」には、センサヘッドを8つ搭載しています(内、2つは樹脂無し)。

後藤　ポリイミドは、強度が高く断熱性に優れているため、人工衛星の熱制御材として広く使われている材料です。一方で対策無しでは、原子状酸素には弱い材料です。ポリイミド樹脂は歴史的に地上で原子状酸素照射試験を行う際の照射モニタ材料として使われています。

木本　もう一つのMDMは、材料サンプルを搭載した「MDM-S」とCCDカメラを搭載した「MDM-C」という二つのユニットから構成されています。

MDM-Sのプレートには1cm角のサンプルが8つと4本のケーブルサンプル、そして長方形のサンプルの計13種類が配置されています。サンプルの選定にあたっては、選定委員会を組織してメーカーなどから意見や提案をもらいました。現在の衛星で使われている材料のほか、次世代衛星に使われる可能性の高い材料や耐久性の高いコーティングを施した材料などが選ばれています。1週間に1度の間隔で、サンプルプレートをMDM-Cのカメラで撮影し、地上との交信時に画像データを送るようになっています。

「つばめ」は、打ち上げ後460日程で高度268kmまで降りてきます。原子状酸素の研究にとっては、超低高度軌道環境での観測が重要なので、それから約6カ月が本番だと考えています。

材料の劣化を評価し、次世代の衛星に活かす

> MDMの評価はどのように行われるのでしょうか?

木本　材料サンプルへ原子状酸素が衝突することで生じる劣化現象は、微小なピンホールがきっかけとなると考えられています。撮影時には、サンプルの前方と後方、それぞれからLEDライトを照射することで、本劣化現象を確認できるようになっています。これまで行われてきた材料劣化の実験・研究は、宇宙環境に曝露したサンプルを地上に持ち帰って分析を行っていました。MDMのように、宇宙空間で撮影した材料を評価する方法は、世界でも初めてのことです。

後藤　ISSの「きぼう」船外実験プラットフォームにもMDMと同じ材料サンプルのプレートを置いて宇宙環境に晒した後、地上に持ち帰ってきたものの分析を行っているところです。「きぼう」で曝露したサンプルと、「つばめ」の材料サンプルを比較することで、超低高度軌道で何が起きているか、具体的には、大気の密度や組成が材料劣化反応にどう影響するのかを理解したいと思っています。

> 次のステップに向けて一言。

木本　AMOで得られた知見は、世界に向けて公開する予定です。「つばめ」の次に打ち上げられる超低高度衛星が、実用機になるのか実験機になるのかは分かりませんが、次期超低高度衛星にもAMOを搭載したいと思っています。原子状酸素をはじめとする大気成分の直接観測例は世界的に少なく、また太陽活動等の影響を受けて変動するため、超低高度衛星の開発および運用のために長期間の継続的な観測が必要と考えています。次期超低高度衛星搭載用として、より精度が高く、小さくて取り扱いやすいAOFSを現在研究中です。

後藤　MDMの解析データから得られた知見を、将来の超低高度衛星の設計や、超低高度衛星開発に必要な試験技術に反映させたいと考えています。今、JAXAが研究開発している新しい材料が、将来の超低高度衛星用材料のスタンダードになるかもしれません。

JAXA TOPICS
JAXAトピックス

TOPIC 1 星出彰彦宇宙飛行士、3回目のISS滞在で初めて船長に就任!

2018年3月2日、星出彰彦宇宙飛行士が、ISS第64次／第65次長期滞在搭乗員に決定しました。滞在期間は2020年5月頃から約半年間が予定されており、後半の2カ月間（第65次）は、若田光一宇宙飛行士に次ぐ日本人2人目の船長として任務にあたります。星出飛行士がISSに滞在するのは、2008年の「きぼう」日本実験棟の打ち上げミッション、2012年のISS長期滞在に続き、今回が3回目となります。この決定を受け、3月6日に記者会見が行われました。

船長に選ばれたことについて星出飛行士は、「今後、ISSから宇宙探査へと宇宙研究のフェーズが移っていく中で、日本は先進国の責務として中核的な役割を果たしていかなければなりません。船長に選ばれた背景には、日本の技術力と日本人に対する信頼の高さがあると思います。日本人の船長として、次のフェーズつなげられるように努めていきたい」と語りました。また、滞在期間中に開催される東京オリンピック、パラリンピックに関連して、「水泳部に所属していたので、宇宙で個人メドレーを泳いで応援したい」とエールを送るアイデアを披露しました。

「縁の下の力持ち的な立場でクルーをサポートして、笑顔が絶えないチームになれば」と星出飛行士。

イプシロンロケット3号機は計画どおり飛行。打ち上げから約52分35秒後にASNARO-2を正常に分離した。

TOPIC 2 イプシロンロケット3号機による高性能小型レーダ衛星（ASNARO-2）打ち上げ成功

2018年1月18日6時6分、JAXAは日本電気株式会社（NEC）からの受託契約に基づき、経済産業省の助成事業により同社が開発した高性能小型レーダ衛星（ASNARO-2）を搭載したイプシロンロケット3号機を内之浦宇宙空間観測所から打ち上げました。ASNARO-2は同じ質量の衛星としては世界最高クラスの空間分解能を実現する衛星で、イプシロンロケットによるJAXA以外の衛星の搭載、太陽同期準回帰軌道への投入は初めてとなりました。高性能・コンパクトなロケットにより、衛星にやさしい環境で衛星の望む投入精度で打ち上げることと運用性の向上を目指し、3号機には、低衝撃型衛星分離機構と試験機より改良した小型液体推進系（PBS）が搭載されました。今回の打ち上げ成功は、小型衛星打ち上げの需要拡大が見込まれる中、イプシロンロケットの信頼性の高さを実証するものといえます。

TOPIC 3 「あなたが着たい宇宙服のデザイン画コンテスト」表彰式を開催

2018年3月7日、筑波宇宙センタースペースドームで、JAXAとモード学園のコラボ企画「あなたが着たい宇宙服のデザイン画コンテスト」の表彰式を開催しました。この取り組みは、「宇宙服のデザインを通して、若い世代に宇宙に関心を持っていただきたい」という狙いのもと始まったもので、東京・名古屋・大阪のデザインを学ぶ学生から集まった約600点のデザイン画から、優秀作品3点（大賞、JAXA賞、デザイン賞／特別賞）を選出。大賞とJAXA賞の作品は、JAXAが実物大モデルの制作を行い、当日は若田光一、大西卓哉の両宇宙飛行士が着用したファッションショーも行われ、受賞者や来場者を楽しませました。

デザイナーの卵たちによる新たな発想の宇宙服を、若田宇宙飛行士、大西宇宙飛行士がお披露目。

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部 〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6
御茶ノ水ソラシティ
TEL:03-5289-3650 FAX:03-3258-5051

JAXAウェブサイト http://www.jaxa.jp/
メールサービス http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/